

Conference Paper, Published Version

Plate, Ludwig

Verbesserung von Mündungen natürlicher Wasserläufe in ein Meer mit Tidebewegung, mit besonderer Berücksichtigung der Nordsee

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
PIANC Deutschland

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104703>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Plate, Ludwig (1949): Verbesserung von Mündungen natürlicher Wasserläufe in ein Meer mit Tidebewegung, mit besonderer Berücksichtigung der Nordsee. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 17. Internationaler Schifffahrtskongreß; Lissabon, Portugal, 1949. Bonn: PIANC Deutschland. S. 225-238.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Verbesserung von Mündungen natürlicher Wasserläufe in ein Meer mit Tidebewegung, mit besonderer Berücksichtigung der Nordsee.

Von Ludwig Plate, Oberbaudirektor in Bremen.

An der deutschen Nordseeküste unterliegen die Strommündungen ausnahmslos der Tidebewegung, die sich weit landeinwärts erstreckt. Für alle diese Mündungen bildet, außer der Oberwasserführung des Flusses selbst, die Tidebewegung in der Nordsee die Grundlage der Wasserbewegung, da von ihr aus die stromaufwärts fortschreitende Tideschwankung als Übertragungswelle angeregt wird. Für alle in diesen Wasserläufen vorzunehmenden Verbesserungen ist daher die Erforschung der Tidevorgänge in der Nordsee von großer Bedeutung. Diese ist besonders durch die Forschungen der Deutschen Seewarte gefördert und soweit geklärt, wie es für die strombautechnischen Fragen der deutschen Nordseeströme erforderlich ist. Für diese, in die Südostecke der Nordsee, die Deutsche Bucht, mündenden Tideflüsse ist die entgegengesetzt zum Uhrzeiger umlaufende Flutwelle maßgebend, die sich um einen Knotenpunkt etwa 3 Längengrade westlich von der jütischen Küste dreht und die ihre Entstehung vornehmlich der Überlagerung der vom Nordmeer eindringenden Tidewelle mit der vom Festland zurückgeworfenen Welle verdankt, während die vom Kanal her eindringende Ebbe- und Flutbewegung auf sie keinen erheblichen Einfluß mehr hat. Die Tidebewegung an der deutschen Nordseeküste stellt sich danach als eine zunächst von Westen nach Osten und dann von Süden nach Norden fortschreitende Flutwelle dar, die vor der Emsmündung mit etwa 2,5 m mittlerem Tidenhub beginnt, vor der Jade-, Weser-, Elb- und Eidermündung, die sie 1 bis 2 Stunden später erreicht, auf rund 3 m Hubhöhe anwächst, um darauf etwa eine weitere Stunde später bis zur Insel Sylt auf 2 m Tideschwankung abzuflauen.

Wenn so die Grundlage für die Wasserbewegung in den Tideströmen der deutschen Nordseeküste, soweit sie vom Meere aus erregt wird, auch ziemlich gleich ist, so bedingt doch die Verbesserung einer jeden Mündung eine besondere Erforschung des eigenen Tidegebietes mit all seinen vielseitigen Erscheinungen und insbesondere seinen langzeitlichen Wandlungen, um erfolgversprechende Maßnahmen ergreifen zu können. Durch Berechnungen allein und auch nur durch Modellversuche wird man den nötigen Aufschluß über die für einen Ausbau bedeutungsvollen Vorgänge in solchen Tideströmen nicht erhalten können. Diese sind wohl in der Lage, sehr wertvolle Hilfen für die Planungen zu leisten, die Hauptsache wird aber stets die unmittelbare Beobachtung in der Natur und die Verfolgung des ganzen Entwicklungsanges in den letzten Jahrhunderten sein. Solche Forschungen sind neben Berechnungen und Modellversuchen für alle deutschen Tideströme in großem Umfang angestellt und

weitgehend bei der Bearbeitung der Entwürfe für die Verbesserungen der Strommündungen herangezogen worden.

Eine besondere Beachtung ist ferner dem Zusammentreffen von Seewasser und Süßwasser im Bereich der Tideströme zu schenken. Wenn auch die Oberwasserführung der Menge nach nur in dem obersten Abschnitt des Tidegebietes gegenüber der Tidewassermenge von Bedeutung ist, während sie in den mittleren und unteren Abschnitten immer mehr zurücktritt, so erlangt sie doch in der Brackwasserzone, wo sich Salzwasser und Süßwasser miteinander vermengen, in mehrfacher Hinsicht wieder eine unmittelbare Einwirkung auf die Flußbettgestaltung.

Eine besondere Beachtung ist in den deutschen Tideströmen der Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung auf der nördlichen Erdhälfte zu schenken, ohne die bedeutungsvolle Erscheinungen und Umgestaltungen in den Stromrinnen und Sänden nicht zu erklären sind und die bei den Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse in den Strommündungen durchaus beachtet werden muß.

Verbesserungen an Mündungen natürlicher Wasserläufe und an diesen selbst, soweit sie von den Tideerscheinungen beeinflusst werden, sind im Bereich der Deutschen Bucht insbesondere an der Ems, der Jade, der Weser, der Elbe und der Eider ausgeführt worden. (Abbildung 1). Außerdem sind noch unter kleinen Wasserläufen die Mündungen von Entwässerungssielen zu erwähnen. Als Mündungen künstlicher Wasserläufe kommen in diesem Bereich nur die Einfahrten der offenen Häfen von Cuxhaven an der Elbe und die Vorhäfen von Schleusen in Frage, und zwar in Emden, Wilhelmshaven, Bremerhaven und Brunsbüttelkoog (Nord-Ostsee-Kanal), über die aber neue Erfahrungen nicht zu melden sind. Es sollen daher im Nachfolgenden vornehmlich die genannten Ströme und ihre Mündungen behandelt werden.

I. Die Ems.

In der Ems erforderte die Erhaltung eines bei MSp Tnw 7 m und bei Thw etwa 10 m tiefen Fahrwassers regelmäßig an drei Stellen Baggerungen erheblichen Umfanges, nämlich an der Geiseplate (Strecke Emden—Knock), an der Knock und im Ostfriesischen Gatje. (Abbildung 2). Seit 1930 sind an diesen drei Stellen Teilregulierungen ausgeführt worden.

Auf dem Westausläufer der Geiseplate ist im Jahre 1932 ein Trennungswerk mit Querbuhnen angelegt worden, und auf dem gegenüberliegenden Ufer der Ems sind drei Strombuhnen vom Seedeich Emden—Knock aus vorgestreckt worden. Nach anfänglich guter Wirkung auf das Fahrwasser haben sich seit 1937 wieder erhebliche Versandungen eingestellt, da die aus Oberwasser und Tide zur Verfügung stehenden Wassermengen offenbar nicht ausreichen, um die geforderte Tiefe von 7 m bei Tnw in dem vorhandenen Flußbett aufrecht zu halten. Auf Grund von Strommessungen wird eine Ergänzung der Strombauwerke, insbesondere des Trennungswerkes gegen den Dollart auf der Geiseplate für notwendig gehalten. Es werden z. Z. Modellversuche durchgeführt, um die hiermit zusammenhängenden Fragen zu prüfen.

An der Knock entstanden früher im oberen Teil des Ostfriesischen Gatjes dadurch große Schwierigkeiten, daß sich infolge des stark gekrümmten Fahrwassers zwei nebeneinander herlaufende Stromrinnen bildeten, eine Ebberinne und eine Flutrinne. Nach Durchbaggerung einer einheitlichen Fahrrinne im Jahre 1927 wurde diese durch Vorwandern der im Nordosten liegenden Mittelplate nach Südwesten abgedrängt, wodurch die Krümmung verschärft wurde und erneut die Gefahr der Stromspaltung entstand. Um die von Nord-

osten über die Mittelplate kommenden Sandwanderungen vom Fahrwasser fernzuhalten, wurde auf der Plate im Jahre 1930 ein Leitdamm errichtet, dessen Krone zunächst etwa 2 m über Tnw, das ist etwa 1 m unter Thw, angeordnet wurde. Gleichzeitig wurde eine Nebenrinne durch einen Sperrdamm geschlossen. Dies erwies sich aber nach den angestellten Beobachtungen noch nicht als ausreichend, um die Verlagerung der Fahrrinne nach Südwesten zu vermeiden. Deswegen wurde der Leitdamm im Jahre 1934 bis auf MThw erhöht, und dadurch wurde zunächst erreicht, daß sich die Lage der Fahrrinne einige Jahre lang nicht mehr wesentlich änderte. Das Fahrwasser ist aber später doch wieder weiter nach Südwesten vorgewandert. Dies ist insbesondere dadurch gefördert worden, daß sich unmittelbar nach dem Bau des Leitdammes an seinem Fuß eine Flutrinne bildete, die gegen das Fahrwasser durch eine neuentstehende Plate abgegrenzt war. Diese Plate gewann in den folgenden Jahren ständig an Höhe und Ausdehnung und trat mit dem Watt in Verbindung. Eine laufende Verschiebung des Fahrwassers nach SW und eine Verflachung im Gatzbogen waren die Folgen. Die anfängliche Aussicht, eine Fahrwasserkrümmung auch durch Maßnahmen auf der Innenseite der Krümmung festlegen zu können, wenn dadurch Sandwanderungen ins Fahrwasser bis zur Höhe des Thw abgeschnitten wurden, hat sich auf die Dauer nicht erfüllt.

An der dritten schwierigen Fahrwasserstrecke der Ems, im Nordteil des Ostfriesischen Gatzes wurde im Jahre 1933 ein Durchstich durchgebaggert, der sich bis Anfang 1936 gut gehalten hat, seitdem aber wieder unter beträchtlichen Versandungen leidet. Im Jahre 1938 durchgeführte Strom- und Geschiebemessungen haben gezeigt, daß der Ebbestrom gut dem Verlauf der Baggerrinne folgt, daß aber bei Flut Schrägströme durch das Fahrwasser auftreten, die als Ursache der Sandablagerungen anzusehen sind. Durch weitere bauliche Maßnahmen soll angestrebt werden, den Ebbe- und Flutstrom in möglichst gleiche Richtung zu bringen und ein möglichst geschlossenes Strombett mit größeren Stromgeschwindigkeiten zu schaffen. Die Einzelheiten dieses Ausbauplanes stehen noch nicht fest.

II. Die Jade.

Im Fahrwasser der J a d e sind strombauliche Arbeiten größeren Umfanges nur noch im Mündungsgebiet östlich der Insel Wangerooge notwendig geworden, nachdem auf der Innenjade vor den Schleuseneinfahrten Wilhelms-havens durch den in den Jahren 1893—1897 auf dem Schweinsrücken erbauten, 5,8 km langen Leitdamm befriedigende Fahrwasserverhältnisse geschaffen worden sind. Im Mündungsgebiet bereiteten die großen Sandwanderungen Schwierigkeiten, die von Westen kommend die Jade-Weser-Mündung in nord-östlicher Richtung durchqueren, wobei sich große Sankbänke bilden, zwischen denen hindurch die Jade und Weser, in eine Reihe von Stromrinnen aufgespalten, in die Nordsee laufen. (Abb. 3.) Durch Vergleich neuerer Aufmessungen mit alten Seekarten konnte bis in das 16. Jahrhundert zurück nachgewiesen werden, daß bei diesen Umlagerungen in fast regelmäßigen Zeitabschnitten von 60 bis 70 Jahren etwa gleiche Zustände eintreten, wobei jeweils der östliche Mündungs-arm der Jade zu einem neuen Weserarm wird. Eine solche ständige Verlagerung der tiefen Stromrinnen brachte im Jadegebiet wiederholt sehr ungünstige Fahrwasserverhältnisse mit sich, und die Aufgabe, die dem Strombau hier gestellt wurde, ging daher dahin, ein beständiges, von den Sandwanderungen unabhängiges Fahrwasser zu schaffen.

Die weiter östlich liegenden Stromrinnen eigneten sich nicht dazu, wenn-gleich sie durch die natürliche Entwicklung solche Tiefen erreichten, daß sich in ihnen durch Baggerungen ein für die Großschiffahrt ausreichendes Fahr-

wasser herstellen und erhalten ließ. Ihre ständige Wanderung nach Nordosten konnte aber durch keine strombaulichen Maßnahmen, weder durch Baggerungen noch durch Strombauwerke verhindert werden, und so mußte damit gerechnet werden, daß in größeren Zeitabschnitten immer wieder die Notwendigkeit auftreten würde, das alte Fahrwasser zu verlassen und dann in einer der nachfolgenden Rinnen eine neue Zufahrt zur Jade herzustellen. Die Forderung, ein in seiner Lage beständiges Fahrwasser zu erreichen, ließ sich nur in den Stromrinnen erreichen, die am weitesten nach Westen liegen und sich unmittelbar an die Insel Wangerooge und das östlich davon liegende Minsener Old Ooge anschließen, das ist das von See aus in östlicher Richtung verlaufende Wangerooger Fahrwasser und die aus der Jade in Süd-Nord-Richtung verlaufende Oldoog-Rinne. Ein natürlicher Zusammenschluß dieser beiden, an sich sehr mächtigen Stromrinnen kam dadurch nicht zustande, daß sich an ihrem Vereinigungspunkt ständig Sandbänke vom Minsener Oldoog ablösten und die Bildung einer tiefen Schiffahrtsrinne verhinderten. Die von Westen an Wangerooge entlang wandernden Sandmassen setzten sich nach Durchquerung der Blauen Balje an der Nordostecke von Minsener Oldoog an und lösten sich dann als geschlossene Sandbänke ab, die dann die Wanderung in nordöstlicher Richtung durch die Jade antraten.

Da die Sandwanderung an sich nicht zu verhindern ist, so galt es, die Bildung solcher Sandbänke zu verhindern. Zu diesem Zwecke sind zunächst in den Jahren 1909—1913 die beiden Buhnen A und C erbaut, ohne aber das angestrebte Ziel zu erreichen. Erst nachdem zwischen diesen beiden Werken in den Jahren 1927/28 noch die Buhne B hergestellt worden war, konnte eine solche Stromverstärkung an der Nordostecke von Minsener Oldoog erreicht werden, daß die wandernden Sandmassen sich hier nicht mehr zu geschlossenen Sandbänken zusammenballen können, vielmehr aufgelöst durch die tiefe Stromrinne nach Nordosten getrieben werden. Die dabei im Fahrwasser auftretenden Untiefen geringeren Umfanges ließen sich durch Baggerungen mäßigen Umfanges beseitigen. Hier ist es gelungen, von der Innenseite einer Stromkrümmung her eine durchgreifende Verbesserung des Fahrwassers durch Strombauwerke zu erreichen, die auf eine örtliche Verstärkung der Strömung hinzielten. Dabei ist durch Modellversuche ermittelt worden, daß eine Zwischenbuhne statt der in einem Gutachten vorgeschlagenen zwei Zwischenbuhnen ausreichen würde. Die Folgerungen aus den Modellversuchen haben sich bei der Verwirklichung als zutreffend erwiesen.

Nachdem nach Beendigung des zweiten Weltkrieges jede Unterhaltung des Fahrwassers der Jade durch Baggerungen eingestellt worden ist, bildet jetzt eine weiter östlich gelegene, natürliche Stromrinne, die Minsener Rinne, die Zufahrt nach Wilhelmshaven.

Was die Wirksamkeit von Ebbe- und Flutstrom anbelangt, so hat sich auf der Jade ergeben, daß im Wangerooger Fahrwasser der Flutstrom und in der Oldoog Rinne der Ebbestrom überwiegt, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern auch am Grunde. Es handelt sich hier um Strömungen in reinem Seewasser, da in der Jade wegen des fehlenden Oberwasserzuflusses kein Brackwasser auftritt.

III. Die Weser.

Die Seewasserstraße der Weser zerfällt in zwei Abschnitte, die Unterweser von Bremen bis Bremerhaven und die Außenweser von dort nach See.

Die Unterweser ist in den 1925 bis 1930 so vertieft und verbreitert worden, daß Schiffe von 8½ m Tiefgang in einer Tide von Bremen nach See

oder umgekehrt fahren können. Dabei ist, mit einer Ausnahme, der durch die frühere Korrektur der Unterweser geregelte Verlauf des Fahrwassers beibehalten. Die Sohlengestaltung ist dabei insofern grundlegend geändert worden, als die Flußsohle zunächst von Bremen auf 16 km um $1\frac{1}{2}$ m ansteigt, dann auf 23 km waagrecht verläuft und darauf wieder bis Bremerhaven um $1\frac{1}{2}$ m abfällt (Abbildung 4). Diese Anordnung hat sich sowohl im Schiffahrtsbetrieb als auch bei der Unterhaltung des Fahrwassers gut bewährt.

Das Fahrwasser der Außenweser ist im Jahre 1922 auf 19 km Länge vom Wurster Arm in den Fedderwarder Arm verlegt worden, die durch die Robbenplate voneinander getrennt werden, weil die Unterhaltung eines bei Tnw 8 m tiefen Fahrwassers große Schwierigkeiten bereitete und selbst durch jährliche Baggerungen von $4\frac{1}{2}$ Millionen cbm Boden nicht in zufriedenstellender Weise durchzuführen war. Anschließend ist durch Herstellung von Strombauwerken und durch Baggerungen das Fahrwasser von Bremerhaven nach See bis zum Jahre 1927 auf 10,3 m bei Tnw oder 13,6 m bei Thw vertieft worden (Abbildung 5). Die Unterhaltung dieses vertieften Fahrwassers erfordert noch eine jährliche Baggerung von $2\frac{1}{2}$ Millionen cbm Boden.

Der Ausbau des Fahrwassers der Unter- und Außenweser ist schon in der Zeitschrift des Internationalen Ständigen Verbandes der Schiffahrts-Kongresse 1935 Nr. 19 behandelt, worauf verwiesen wird. Ergänzend ist den früheren Darlegungen noch folgendes hinzuzufügen:

Bei der Erhaltung des Fahrwassers der Unterweser ist auf einer kurzen Strecke bei Dedesdorf eine Ergänzung der Stromregelung notwendig geworden, weil hier starke Schlickablagerungen ständig große Baggerungen notwendig machten. Diese Zone fällt etwa mit der oberen Grenze der Brackwasserzone zusammen, und daraus ist der Schluß gezogen, daß die starke Ausscheidung von Schlick mit der Mischung von Süß- und Salzwasser zusammenhängt, daß der sich hier absetzende Schlick vom Oberwasser zugeführt wird und daß daneben auch biologische Vorgänge, Absterben von Süßwasser- oder Salzwasser-Radiolarien eine Rolle spielen. Außerdem wird auf der Weser, insbesondere auf der Außenweser, eine jahreszeitlich gebundene Schlickbildung auf den Watten im Frühling und Sommer beobachtet, die teils mit der ruhigen Witterung, teils ebenfalls mit biologischen Erscheinungen (Planktonbildung) zusammenhängen mag. Diese Ansichten sind aber umstritten und bedürfen weiterer Klärung.

In den letzten Jahren ist durch beiderseitige Uferlehren die Strömung auf dieser Strecke schärfer im Fahrwasser zusammengefaßt, und dadurch sind die Baggerungen beträchtlich vermindert. In der Folge haben sich aber stärkere Ablagerungen unterhalb der so regulierten Flußstrecke bemerkbar gemacht, so daß es erforderlich sein wird, die Einschränkung des Flußlaufes noch fortzusetzen, bis die von Natur sehr großen Wassertiefen in der Stromenge bei Nordenham erreicht werden.

Ferner ist zu erwähnen, daß auf der Unter- und Außenweser nach den angestellten Strombeobachtungen allgemein dem Ebbestrom eine größere Wirksamkeit beigemessen wird als dem Flutstrom, weil der stärkste Ebbestrom bei niedrigeren Wasserständen auftritt und in seiner aktiven Stärke erheblich länger anhält als der Flutstrom. Dabei ist das Verhältnis des Grundstromes sowohl durch Flügelmessungen als auch durch Beobachtung von Flach- und Grundschwimmern festgestellt. Wenn auch der Grundstrom bei Ebbe gegenüber dem Oberflächenstrom an manchen Stellen mehr geschwächt ist als bei Flut, wird doch dem Ebbestrom eine stärkere Räumkraft beigemessen als dem Flutstrom.

Es hat sich dabei eindeutig die Einwirkung der Erdumdrehung auf die Strömungsverhältnisse ergeben, durch die allgemein auf der nördlichen Erdhälfte eine Ablenkung nach rechts hervorgerufen wird, und zwar in um so stärkerem Maße, je größer die Stromstärke ist. Dadurch werden auch auf geraden Flußstrecken Schraubenströme hervorgerufen, und an verschiedenen Stellen ist beobachtet, daß in manchen Stromkrümmungen die Rechtsablenkung die Fliehkraft nach der Außenseite der Krümmung überwiegt. Demzufolge ist z. B. oberhalb von Nordenham das Fahrwasser von der Außenseite der Flußkrümmung auf die Innenseite gelegt worden mit dem Erfolge, daß sich dort etwa 25 Jahre lang ein um 2 m tieferes Fahrwasser ohne Baggerungen gehalten hat, während früher in dem an der Außenseite der Krümmung liegenden Fahrwasser ständig erhebliche Unterhaltungsbaggerungen notwendig waren. Neuerdings haben sich infolge einer Ausweitung des Flußbettes auch im verlegten Fahrwasser wieder stärkere Ablagerungen bemerkbar gemacht, die durch Baggerungen beseitigt werden müssen und Anlaß dazu geben, wieder eine Einschränkung des Flußbettes anzustreben.

Beim Ausbau des Fedderwarder Armes ist eine Verlegung des Fahrwassers nach links, also entgegen der Wirkung der Erdumdrehung auf die Strömung, vorgenommen worden in der Erkenntnis, daß in diesem Falle nicht die Rechtsablenkung des Ebbestromes entscheidend war, sondern die Verkürzung des Weges und das damit verbundene größere Gefälle. Durch besondere Strombauwerke (Buhnen) wird dabei der Ebbestrom vor der Abzweigung nach links abgedrängt. Die Festlegung des Fahrwassers im Fedderwarder Arm ist dann in Krümmungen in der Weise erfolgt, daß an ihrer Außenseite der weitere Abbruch durch Buhnen verhindert worden ist, deren Wurzeln, nötigenfalls durch Leitwerke verbunden worden sind.

Modellversuche sind für den Ausbau der Unter- und Außerweser nur in geringem Umfange ausgeführt worden und haben keinen Einfluß auf die Planungen gehabt. Das größte Gewicht ist auf die Beobachtung in der Wirklichkeit und das Studium von Kartenvergleichen gelegt worden, ferner sind umfangreiche Rechnungen aufgestellt worden, die wohl für die Wasserverteilung auf verschiedene Stromarme und für die Senkung der Tideniedrigwasserstände zutreffende Werte geliefert haben, aber nicht für die beim letzten Ausbau der Unterweser beobachtete Hebung des Tidehochwassers im oberen Tideabschnittes bis zu 0,2 m.

IV. Die Elbe.

In der Elbe sind an zwei Stellen umfangreiche Arbeiten zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse durchgeführt worden, und zwar einmal am Pagensand und sodann an der Ostebank.

Der Pagensand ist eine Insel in der Elbe etwa 38 km unterhalb von Hamburg, und durch sie wird der Strom in zwei Arme gespalten. Das Stromgebiet, das noch oberhalb der bei Glückstadt beginnenden Brackwasserzone liegt, ist hier in der Vergangenheit überaus großen Veränderungen unterworfen gewesen, zumal sich auch im westlichen Hauptarm noch ein wandernder Sand, der Schwarztonnensand, befindet. Es hat sich gezeigt, daß sich in dem übermäßig breiten Strombett immer nur dann ein gutes Fahrwasser ausgebildet hat, wenn Flut- und Ebbestrom mit ihrer Hauptwasserführung in sanfter Krümmung in dem Stromarm zwischen dem Pagensand und dem Schwarztonnensand verliefen und diese Sände durch eine langgestreckte, geschlossene Form eine ausreichend lange Stromführung bildeten. Solche Stromzustände

waren in besonders günstiger Gestaltung am Ende des vorigen Jahrhunderts vorhanden. Mit zunehmender Krümmung verschlechterten sich stets die Fahrwasserverhältnisse. Im Scheitel der Krümmung entstanden tiefe, die Stromkraft nutzlos schwächende Kolke, in den Übergängen bildeten sich Verflachungen und Barrén, die die Wasserführung im Fahrwasser zugunsten der Nebenarme und Nebenrinnen verringerten. Flut- und Ebbestrom strebten infolge der Rechtsablenkung durch die Erdumdrehung auseinander und bildeten Querstömungen, die Sände abtrugen, vielfach zerrissen und dadurch Zustände größter Verwilderungen verursachten. Solche wiederholt aufgetretenen Stromverwilderungen hatten bis zum Jahre 1925 so ungünstige Fahrwasserverhältnisse hervorgerufen, daß durchgreifende Maßnahmen dringend erforderlich wurden. (Abbildung 6).

Zunächst, beginnend im Jahre 1900, hatte man versucht, durch Baggerungen der Lage Herr zu werden, und bis 1926 sind hier im ganzen nahezu 10 Millionen cbm Boden gebaggert worden, in den letzten Jahren dieses Zeitabschnittes jährlich über 1 Million cbm. Diese Baggerungen mögen das Fortschreiten der Verwilderung der Stromstrecke etwas verzögert haben, zu einer anhaltenden Besserung führten sie aber nicht, weil die immer stärker wirkenden Ursachen der Verwilderung nicht beseitigt wurden.

Von 1922 bis 1926 wurde am unteren Ende der Insel Pagensand eine Grundschwelle hergestellt, um die in das Nebenfahrwasser vorstoßende, über 10 m tiefe Rinne zu schwächen, und am oberen Ende der Insel wurde ein 1700 m langer Leitdamm ausgeführt, um das weitere Vordringen eines vorgelagerten Sandes, des sogenannten „Hungrigen Wolfes“ nach dem Fahrwasser zu verhindern. Diese Strombauwerke genügten aber nicht, um eine durchgreifende Besserung herbeizuführen.

Als Hauptaufgabe der weiter durchzuführenden Stromregelung wurde angesehen, dem Fahrwasser die für den Beharrungszustand günstigste Krümmung zu geben und ihren Bestand durch eine feste, unnachgiebige und in der Länge ausreichende Führung, vor allem auf der hohlen Seite zu sichern. Als Vorbild diente dabei der Zustand des Strombettes zur Zeit der von Natur entstandenen besonders günstigen Fahrwasserverhältnisse. Das Regelungsziel bildete ein bei Tnw 10 m tiefes Fahrwasser von 400 m Breite. Dabei mußte aber das Nebenfahrwasser östlich des Pagensandes für Kleinschiffahrt und als Vorfluter erhalten bleiben.

Die Stromregelung wurde durch Buhnen bewirkt, die vom Pagensand nach Westen gegen das Hauptfahrwasser vorgetrieben wurden. Vom unteren Ende der Insel wurde ein Leitdamm vorgestreckt, an den dann weitere Buhnen angeschlossen wurden. Das obere Ende von Pagensand wurde als Trennungsspitze ausgebaut, um die Wasserverteilung auf Haupt- und Nebenarm der Elbe bei Ebbe zu regeln. (Abbildung 7). Auf 7 km Länge ist durch diese Arbeiten eine feste Stromführung auf der Hohlseite geschaffen worden. Gleichzeitig mit der Ausführung dieser Strombauwerke in den Jahren 1926 bis 1936 sind zur Herstellung der angestrebten Fahrrinne rd. 10 Millionen cbm Boden gebaggert worden.

Wie ein Vergleich der beiden Karten von 1925 und 1936 zeigt, haben diese Arbeiten vollen Erfolg gehabt, und das Ausbauziel ist erreicht worden.

Die zweite schwierige Stelle im Fahrwasser der Elbe lag bei der Ostebank von km 697 bis 707, etwa 80 km unterhalb von Hamburg und kurz unterhalb der Mündung des Nord-Ostsee-Kanals. Die Ostebank, die im Anfang dieses Jahrhunderts der Unterhaltung des Fahrwassers Schwierigkeiten bereitete, ist keine erstmalige Erscheinung in diesem Stromgebiet. An alten Karten läßt

sich vielmehr bis zum Jahre 1588 zurück verfolgen, daß sich im Laufe der Zeit zu wiederholten Malen auf der Nordseite des Flußbettes ein Sand gebildet hat, der dann nach Ablösung vom Nordufer durch den Stromschlauch nach Süden gewandert ist, bis er sich dort wieder an das Ufer anlegte. Der Ursprung der letzten Ostebank läßt sich schon in der Marinekarte von 1864 erkennen, da diese ein starkes Vorspringen des Neufelder Watts im Norden des Flußbettes und die beginnende Ablösung eines Sandes zeigt. Damals ging noch eine Fahrwassertiefe von 10 m bei Tnw in mindestens 500 m Breite durch. Bis 1891 war eine Spaltung des Stromes durch einen langgestreckten Sand, die Ostebank, in zwei Rinnen eingetreten, und in dem Fahrwasser war die 10 m-Tiefe auf 5 km Länge unterbrochen; bis zum Jahre 1902 waren die Verhältnisse für tiefgehende Schiffe so ungünstig geworden, daß man von 1903 an mit Baggerungen eingriff. Bis zum Jahre 1920 versuchte man, mit Baggerungen allein die planmäßige Fahrwassertiefe wiederherzustellen. Dies gelang aber nicht, obgleich in dieser Zeit $24\frac{1}{2}$ Millionen cbm Boden bei der Ostebank gebaggert wurden. Mit knapper Not konnte dadurch nur eine Fahrwassertiefe von 8 m bei Tnw in 200 m Breite erhalten werden, wie aus der Karte von 1921 hervorgeht. (Abbildung 8).

Von 1922 bis 1925 wurden auf der Südseite am Watt oberhalb der Ostermündung, am sogenannten Osteriff, einige Schutzwerke angelegt, um hier den besonders starken Abbruch abzustellen. Im Jahre 1926 wurde ein Gesamtregelungsplan für eine Strecke von rd. 17 km Länge von km 690,25 bis 707,5 abgeschlossen; der auf Grund eingehender Studien der in diesem Gebiet auftretenden Sandwanderungen und ausgedehnter Strommessungen aufgestellt worden war. Dieser sah grundsätzlich folgendes vor: Allmähliches Vorschieben des südlichen Ufers durch den Bau von Buhnen am Osteriff; diesem Vorschieben entsprechende Abbaggerung der Ostebank, wobei aber auf die Einschränkung der übermäßigen Breite des dem Inhalt nach richtig bemessenen Querschnittes Bedacht zu nehmen war. Abflachung der scharfen Krümmung vor dem Osteriff. Schlanke Linienführung des linken Ufers von der Ostermündung aufwärts bis zum sogenannten Böschrücken durch Vorschieben des Ufers in der Bucht oberhalb der Baljer Ecke mittels Buhnen. Verlegung der Ostermündung und Festlegung derselben mit spitzwinkliger Einführung in die Elbe durch Buhnen und Leitwerke, um die Wasserbewegung der Elbe durch das Einmünden dieses Nebenflusses möglichst wenig zu stören.

Dieser Regelungsplan wurde von 1927 bis 1936 planmäßig durchgeführt mit dem Erfolg, daß wieder ein durchlaufendes Fahrwasser von 10 m Tiefe bei Tnw in 400 m Breite hergestellt ist, wie es auch schon die Karte von 1935 zeigt. (Abbildung 9). Diese Stromstrecke hat nach der Streckung des Fahrwassers und der Umgestaltung ihres Querschnittes genügend räumende Kraft erhalten, und durch die ausgeführten Maßnahmen ist bis heute ein guter Zustand des Fahrwassers erreicht worden.

Auf der Außenelbe unterhalb von Cuxhaven haben sich zwischen den Feuerschiffen Elbe 3 und 4 dadurch Schwierigkeiten im Fahrwasser eingestellt, daß sich gleichzeitig mit einer großen Ausweitung des Flußbettes Ebbe- und Flutrinnen voneinander trennten und das Kugelbaken-Fahrwasser durch einen Mittelgrund als Flutrinne abgespalten wurde und daß sich seit 1936 in der als Hauptfahrwasser dienenden Ebberinne vor einem von Norden her zwischen dem Großen Vogelsand und dem Gelbsand vorstoßenden Durchbruch, dem Lüchter Loch, mitten im Fahrwasser eine ständig wachsende Sandbank, der „Lüchter Grund“, bildete, auf der im Jahre 1939 nur noch eine Wassertiefe von weniger als 7 m bei MTnw vorhanden war (vgl. Abbildung 10). Im Jahre

1939 wurden groß angelegte Regulierungsarbeiten für die Außenelbe unterhalb Cuxhavens begonnen, die aber infolge Kriegsausbruches nicht fortgeführt werden konnten. Über Ergebnisse dieser Arbeiten kann daher z. Z. noch nicht berichtet werden. Die Fahrwasserverhältnisse auf der Außenelbe haben sich inzwischen wieder günstiger gestaltet, und im Jahre 1948 hat sich ohne Baggerungen wieder eine durchgehende Fahrwassertiefe von 10 m bei Tnw herausgebildet.

Aus den sehr umfangreichen Vorarbeiten und der wissenschaftlichen Erforschung der Außenelbe ergeben sich aber Erkenntnisse von großer allgemeiner Bedeutung.

Aus umfangreichen Kartenvergleichen, die bis zum Jahre 1568 zurückgehen und sich auf 48 vor dem Jahre 1876 herausgegebene Seekarten stützen, sind langperiodische Umbildungen in der Außenelbe festgestellt worden, die bei Regelungsarbeiten beachtet werden müssen.

Besonders eingehend ist das Verhalten der Tidewelle in der Elbe verfolgt worden, wobei insbesondere auch die Einwirkungen von Veränderungen im Stromlauf und Veränderungen der Oberwasserführung auf das Zurückwerfen der Welle und damit auf den Tidenhub oberhalb und unterhalb von Regulierungsstrecken festgestellt worden sind. Die Beseitigung von Hemmungen im Verlauf der Tidewelle bewirkt oberhalb eine Vergrößerung und unterhalb eine Verringerung des Tidenhubes.

Für Sturmfluten konnte keine Einwirkung auf die Umbildungen des Flußlaufes oder Ablagerungen im Fahrwasser nachgewiesen werden.

Bei den Strom- und Salzgehaltsbeobachtungen in der Brackwasserzone, deren obere Grenze in der Elbe etwa bei Glückstadt liegt, ist festgestellt worden, daß eine Verschiedenheit in der senkrechten Verteilung der Strömungen bei Ebbe- und Flutstrom besteht, und zwar derart, daß die Geschwindigkeiten bei Flutstrom mit der Tiefe verhältnismäßig weniger abnehmen als bei Ebbestrom. Aus diesen Messungen ergibt sich z. B. für die Außenelbe, daß bei Flut der Grundstrom 83 v. H. der mittleren Stromgeschwindigkeit erreicht und die Strömung an der Oberfläche 130 v. H., dagegen ist bei Ebbe das Verhältnis beim Grundstrom nur 54 v. H., dafür aber beim Oberflächenstrom 154 v. H. Diese Erscheinung wird auf die verschiedene Dichte des Wassers infolge der Mischung von See- und Flußwasser zurückgeführt. Dabei ist bei Flut der durch Messungen festgestellte Unterschied im Salzgehalt an der Oberfläche und am Grund nicht besonders groß, er beträgt nur $\frac{1}{2}$ bis 1 v. T. bei etwa 15 bis 25 v. T. Salzgehalt. Bei Ebbe geht der Unterschied dagegen auf 2 bis 5 v. T. hinauf, ist also erheblich. Da nun der Grundstrom für die Bewegung des Geschiebes ausschlaggebend ist, so wird auf der Elbe in der Brackwasserzone dem Flutstrom eine größere Bedeutung für die Bettgestaltung und -erhaltung zugeschrieben als dem Ebbestrom. Durch verschiedene Verteilung des Salzgehaltes im Flußbett selbst werden insbesondere auch Querströmungen hervorgerufen, die nicht ohne Bedeutung für die Ablagerungen im Fahrwasser sind.

Ferner hat die Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung auch auf der Elbe eine besondere Beachtung erfahren. Man findet darin besonders die Erklärung für das verschiedene Verhalten der Strömung in Rechts- und Linkskurven, in Stromrichtung gesehen, und z. B. für die Erscheinung, daß in einer Rechtskurve die stärkste Strömung durchaus nicht an der Außenseite der Krümmung zu liegen braucht, sondern auch auf der Innenseite der Krümmung auftreten kann, nämlich solange wie die Rechtsablenkung durch die Erdumdrehung die in einer Rechtskurve entgegengesetzte

Fliehkraft des in der Kurve strömenden Wassers überwiegt. Eine rechnerische Verfolgung, wie sie versucht worden ist, stößt allerdings auf große Schwierigkeiten, da sich die Rechnung wohl ohne Berücksichtigung der Reibung durchführen läßt, die Reibung in einem Tidefluß aber nicht, wie bei Meeresströmungen, vernachlässigt werden darf. Rechnerische Untersuchungen konnten daher in dieser Hinsicht nur Fingerzeige für die Beurteilung dieser Erscheinung geben, aber keine in die Wirklichkeit oder auf einen Modellversuch übertragbare Ergebnisse liefern.

Beide Erscheinungen, das verschiedene Verhalten des Grund- und Oberflächenstromes infolge der Schichtung des Wassers in der Brackwasserzone sowohl, wie die Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung können im Modellversuch schwerlich naturgetreu nachgeahmt werden, da sich die Schichtung des Wassers durch verschiedene Salzgehalte in einer Wasserschicht geringer Tiefe, wie sie im Modell vorhanden ist, nicht erhalten läßt und weil die Erdumdrehung zwar auch auf die Strömungen im Modell die nach rechts ablenkende Wirkung ausübt, aber in einem anderen Verhältnis, wie sie der Verkleinerung der Stromgeschwindigkeit im Modell gegenüber der Wirklichkeit entspricht. Von dem Modell eines Tideflusses wird man daher nicht erwarten können, daß es einwandfreie Aufschlüsse über Strömungsvorgänge geben kann, auch wenn man im übrigen erreichen sollte, das Ähnlichkeitsgesetz in weitgehendem Maße zu verwirklichen.

Bei den umfangreichen Modellversuchen, die noch nicht abgeschlossen sind, ist es gelungen, durch Auflegen von kleinen Platten auf die Sohle die Rauigkeit im Modell so zu gestalten, daß ein naturgetreuer Verlauf der Tidebewegung erreicht wird.

V. Die Eider.

Als letzter, bedeutungsvoller Wasserlauf im Bereich der Deutschen Bucht, der durch künstliche Eingriffe eine Umgestaltung erfahren hat, ist die Eider zu behandeln. Die Veranlassung dazu hat nicht eine beabsichtigte Verbesserung der Schifffahrt gegeben, dafür waren vielmehr Belange der Landeskultur maßgebend.

Die Eider, die ihren Ursprung südlich von Kiel hat und nach Westen zu bis Rendsburg verschiedene größere Seen durchfließt, ist bei dieser Stadt durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanals am Ende des vorigen Jahrhunderts von ihrem Unterlauf abgeschnitten worden. Die bei Rendsburg seit langem zwischen dem Unterlauf und Oberlauf der Eider bestehende Schleuse verbindet seitdem den Kanal mit der unteren Eider. Diese mündet nach 120 km Lauflänge bei Vollerwiek, unterhalb von Tönning, in die Nordsee und steht unter der Einwirkung von Ebbe und Flut. Sie entwässert zwischen Rendsburg und Friedrichstadt ein großes, tiefliegendes Niederungsgebiet, das am Ende des vorigen Jahrhunderts zum großen Teil noch nicht durch Winterdeiche und nur teilweise durch niedrige Sommerdeiche gegen Überflutungen geschützt war. Erst von Friedrichstadt abwärts waren schon seit langem Winterdeiche vorhanden, die besonders die Marschen vor Sturmfluten schützten. In der Niederung oberhalb von Friedrichstadt wurden dann aber später in immer zunehmendem Maße Sommerdeiche gebaut oder erhöht, um die Wiesen im Sommer vor Überflutungen zu schützen, die nach der Erweiterung des Nord-Ostsee-Kanals im Jahre 1914 noch dadurch besonders unerwünscht wurden, daß der Salzgehalt des Eiderwassers sich durch den Zulauf salzhaltigen Wassers aus dem Kanal erhöht hatte. Die Folge dieser Deichbauten war nun, daß sich die bei starken westlichen Winden über den gewöhnlichen Stand auflaufenden Fluten infolge der Verkleinerung des Aufnahmebeckens beträchtlich erhöhten. Bei Rends-

burg ist bei mittelhohen Sturmfluten von 1893/1907 bis 1926/1929 eine Hebung bis zu 1 m bei gleicher Wasserstandshöhe an der Eidermündung eingetreten. Die Folge davon waren häufige Überströmungen der Sommerdeiche trotz ihrer Erhöhung, verbunden mit schweren Deichbrüchen. Da im Untergrunde starke Moorschichten liegen, die für hohe Deiche nicht genügend tragfähig sind, so konnten diese Mißstände nicht durch eine weitere Erhöhung der Deiche beseitigt werden.

Außerdem machte sich im Eiderbett selbst auf etwa 5 km Länge unterhalb der Rendsburger Schleuse ein erheblicher Schlickfall bemerkbar, der umfangreiche Baggerungen zur Erhaltung der Fahrwassertiefe notwendig machte. Die Ursache dieses weit stromaufwärts reichenden Schlickfalles ist darin zu erblicken, daß durch die Abschneidung des Oberlaufes der Eider mit einem Einzugsgebiet von 1200 qkm durch den Nord-Ostsee-Kanal der natürliche Süßwasserzufluß aufgehört hat. Vom Kanal aus konnte zwar zunächst doch durch die Rendsburger Schleuse eine Spülung der unteren Eider durch Einlassen von Kanalwasser erfolgen, dies mußte aber stark eingeschränkt oder ganz aufgegeben werden, nachdem sich der Salzgehalt des Kanalwassers bei Rendsburg gleichzeitig mit der Erweiterung des Kanals in solchem Maße erhöht hatte, daß er für die Landeskultur in der Eiderniederung nicht mehr erträglich war.

Zur Abstellung dieser Mißstände ist die Eider in den Jahren 1934/36 bei Nordfeld, 78,4 km unterhalb von Rendsburg, d. i. 5 km oberhalb von Friedrichstadt oder 21,6 km oberhalb von Tönning sturmflutfrei abgeschleust worden. In dem Durchstich wurde zunächst in den Jahren 1934/35 ein großes Entwässerungssiel mit 100 qm Durchflußquerschnitt in fünf Öffnungen von je 6 m lichter Weite und einer Schiffahrtsschleuse von 70 m Länge und 9,5 m Breite angelegt. Darauf wurde im Jahre 1936 der eigentliche Eiderlauf durch einen sturmflutfreien Erddamm geschlossen.

Durch diese Anlage ist der Eiderlauf zwischen Nordfeld und Rendsburg dem Zutritt von Ebbe und Flut vollständig entzogen, und der Binnenwasserstand wird allein nach den landwirtschaftlichen Bedürfnissen geregelt. Für die Entwässerung der angrenzenden Niederungen soll der Binnenwasserstand möglichst unter $-0,9$ NN gehalten werden. Für die Schiffahrt ist auf der Binneneider teils durch Ausbaggerung und teils durch Aufstau des Wassers durch eine zweite kleinere Abdämmung mit Schleuse bei Lexfähre eine Wassertiefe von 3,3 m hergestellt worden.

Durch die Abdämmung ist der Tideverlauf in der Eider stark beeinflusst, da das ganze Aufnahmebecken oberhalb von Nordfeld sowohl für die gewöhnlichen Tiden als auch für Sturmfluten ausfällt. Aus Abbildung 11 geht hervor, wie sich die normale Tidekurve der Eider bei Nordfeld zunächst infolge der Abdämmung geändert hat. Das MThw ist an der Sperrstelle von 1935 auf 1937 um 0,32 m gestiegen und das MTnw um 0,66 m gefallen, so daß also der mittlere Tidehub fast um 1 m zugenommen hat, von 2,36 m auf 3,34 m. Selbst bei Tönning, 21,6 km unterhalb der Abschleusung, betrug die Hebung des MThw noch 0,16 m, die Zunahme des Tidenhubes 0,49 m. Besonders hat sich auch die ganze Form der Tidekurve zunächst stark verändert. Durch das Zurückwerfen der Tidewelle am Stauwerk stellte sich zunächst eine sehr rasch ansteigende Flut und ein lang anhaltendes Thw ein, in dem sich zwei Wellenscheitel andeuten.

Von besonderer Bedeutung ist die Frage, ob und in welchem Maße sich die Höhe der Sturmfluten infolge der Abdämmung verändert. Rechnerische Untersuchungen hatten ergeben, daß mit einem Ansteigen der höchsten Sturmfluten um 0,53 m zu rechnen sei. Dagegen hatten in der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin durchgeführte Modellversuche

ein höheres Auflaufen um 1,03 m ergeben. Bei einer Sturmflut am 27. November 1938 ist der Wasserstand nur um 0,11 m darunter geblieben. Daraus ist zu schließen, daß die Modellversuche zutreffende Ergebnisse geliefert haben, während die Berechnung einen erheblich zu niedrigen Sturmflutwasserstand ergeben hat. Im Zusammenhang mit der Abschleusung der Eider sind wegen der Erhöhung der Sturmfluten auch die Eiderdeiche unterhalb der Sperrstelle abwärts bis Friedrichstadt erhöht worden und sollen noch weiter stromabwärts bis Tönning verstärkt werden.

Nach der Abdämmung der Eider im Jahre 1936 ist eine starke Versandung des Eiderbettes unterhalb der Abschleusung eingetreten, die sich nach zwei Jahren, im Sommer 1938, schon auf 10 km Länge erstreckte und eine Ablagerungsmenge von 10,5 Millionen cbm umfaßte. Wider Erwarten handelte es sich nicht um eine Verschlickung, sondern um die Ablagerung von Sand, der von den Watten unterhalb von Tönning stammte. Diese Versandung hat sich in den folgenden Jahren, wenn auch in vermindertem Maße, fortgesetzt und hat bis 1946 einen Umfang von fast 19 Millionen cbm erreicht.

Unterhalb der Abschleusung ist das früher (1935) etwa 800 qm im Querschnitt messende Niedrigwasserbett fast vollständig, 1947 bis auf 2 qm, verschwunden, und das ehemals 1550 qm große Hochwasserprofil ist auf 330 qm zusammengeschrumpft. Der Sand dringt bis vor die Tore des Sperrwerkes vor und verhindert die Öffnung der Tore, so daß diese dann freigebagert werden müssen. Die Versandungen erstrecken sich stromabwärts bis nach Tönning und haben etwa 20 km unterhalb der Abschleusung das Hochwasserbett von 2400 qm auf 2060 qm, d. i. um 14 v. H., und das Niedrigwasserbett von 1380 qm auf 1040 qm, d. i. um 25 v. H., verringert.

Die auf der Eider nur noch in geringem Umfange stattfindende Kleinschiffahrt ist auf die Zeit des Tidehochwassers beschränkt.

Verheerend sind die Folgen der Versandung für die Entwässerung der oberhalb der Absperrung liegenden Eiderniederung. Während zunächst nach der Ausführung der Abdämmung im Jahre 1937 der für die Entwässerung angestrebte Binnenwasserstand von $-0,9$ NN kaum jemals überschritten wurde, war dies im Jahre 1946 an 242 Tagen der Fall. Regenfälle in dem 1500 qkm großen Einzugsgebiet verursachen oft große Überschwemmungen in der Eiderniederung, die bei der mangelhaften Vorflut nur langsam zurückgehen.

Die unterhalb der Eiderabdämmung eingetretene starke Versandung hat ihre Ursache darin, daß durch das Sperrwerk die Tidebewegung zur Binneneider vollkommen abgeschnitten worden ist. Vor der Absperrung strömten dort bei jeder Tide 12,5 Millionen cbm Wasser ein und aus, und bei Tönning betrug die Tidewassermenge 22,0 Millionen cbm. Nach der Absperrung ging die Tidebewegung am Sperrwerk auf 0 zurück und nahm bei Tönning auf 16,6 Millionen cbm, also um 5,4 Millionen cbm ab. Infolge der Vergrößerung des Tidenhubes erreichte die Verminderung des Tidewassers bei Tönning nicht das volle Maß von 12,5 Millionen cbm, das jetzt an der Sperrstelle nicht mehr durchfließen kann. Bei der fortschreitenden Versandung, die sich auch über das Thw erstreckt, hat sich der Speicherraum für Tidewasser inzwischen stark verringert und bis 1946 zu einer weiteren Abnahme der Tidewassermenge bei Tönning um 3,3 Millionen cbm auf 13,3 Millionen cbm geführt.

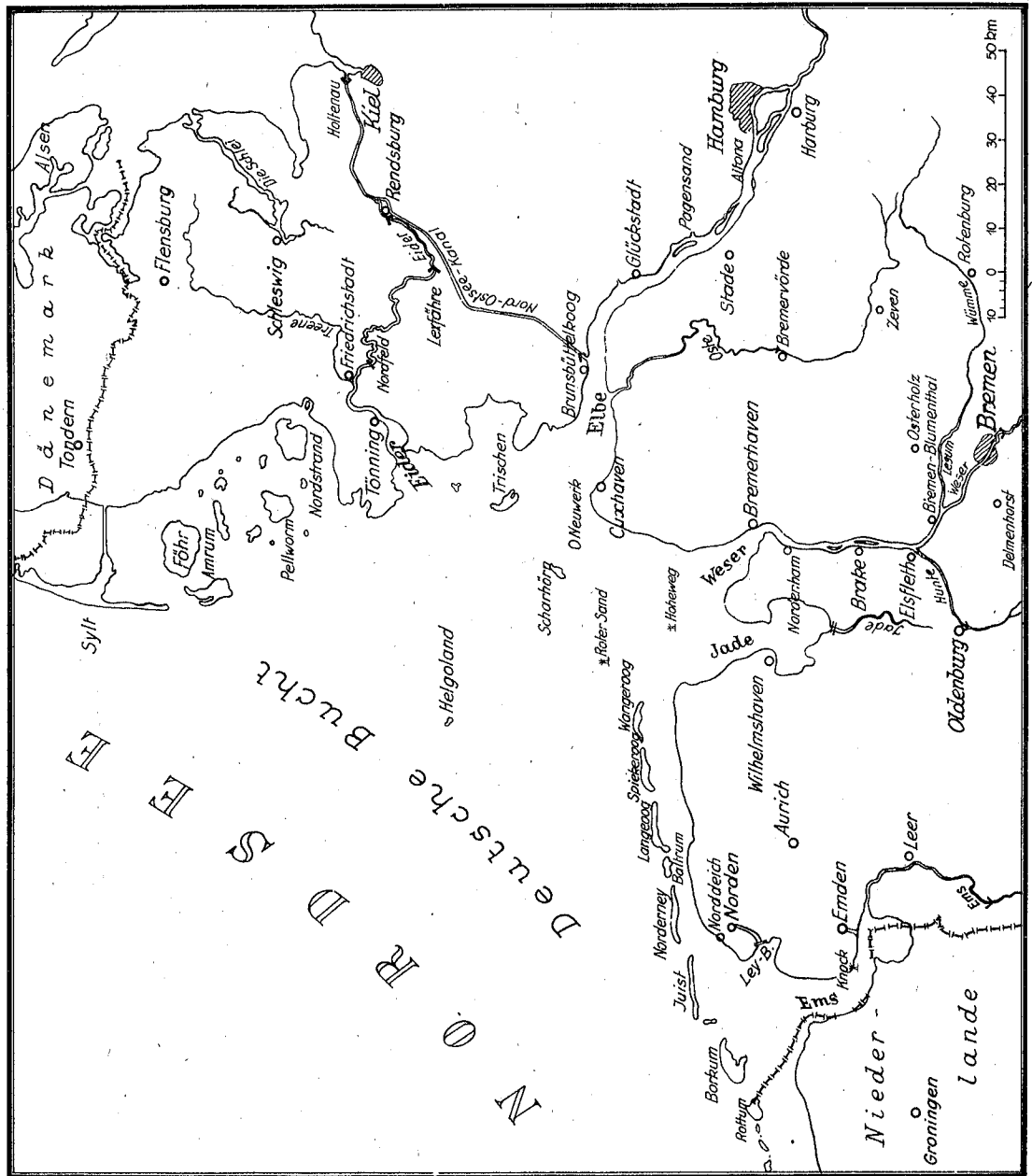
Das Hinaufschieben der gewaltigen Sandmassen in die Eider unterhalb des Sperrwerkes hat seine Ursache darin, daß der Ebbestrom durch die völlige Absperrung der oberen Eider von der Tidebewegung mehr geschwächt ist als der Flutstrom, der infolge des raschen Ansteigens der ersten Flut die Grenzgeschwindigkeit, bei der der Wattensand noch bewegt wird, noch längere Zeit

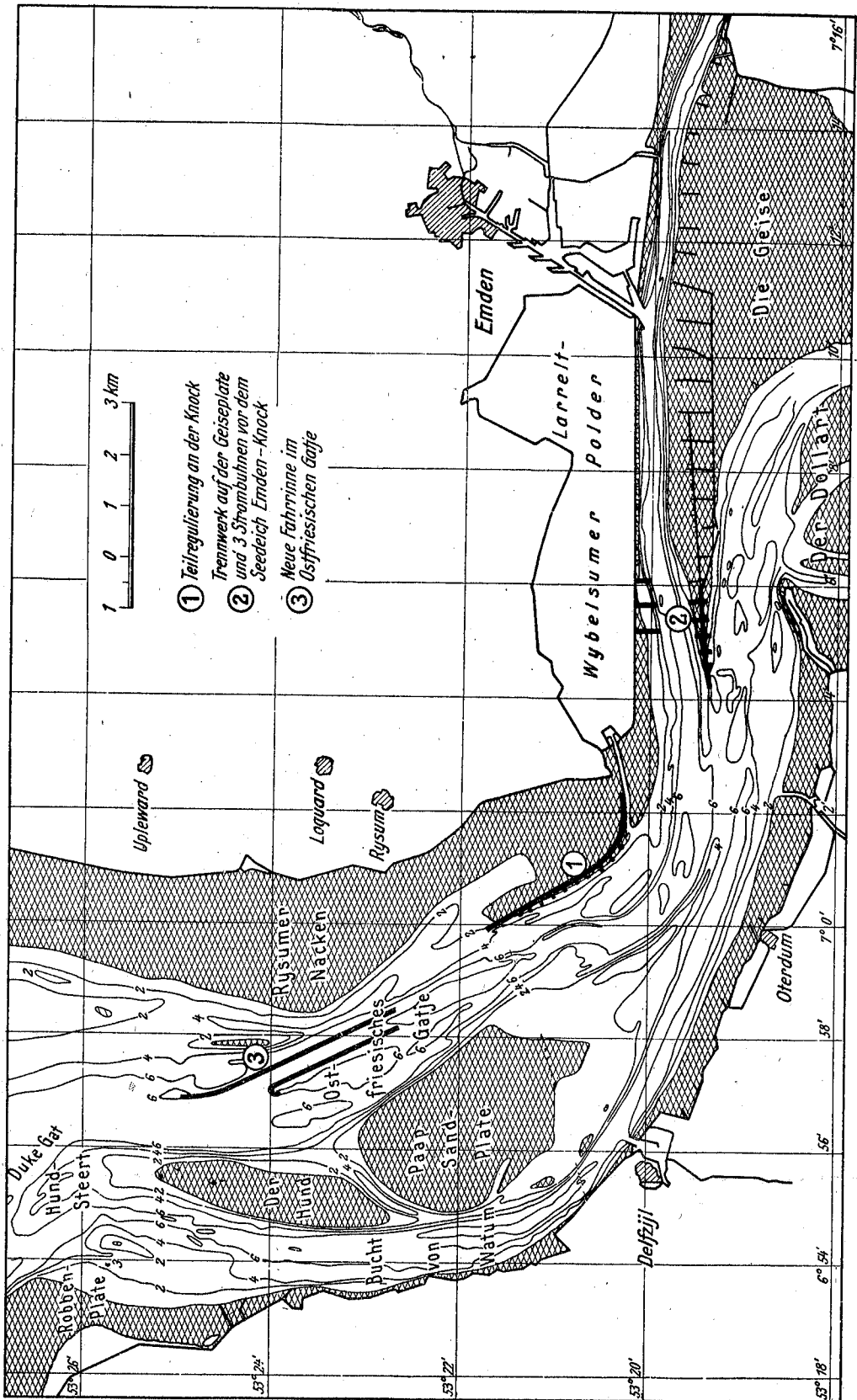
überschreitet und den feinen Sand stromaufwärts mit sich führt. Während der langen Hochwasserzeit setzt sich der Sand ab und wird von dem flauen Ebbestrom nicht wieder seewärts geführt, wie es vor der Absperrung der Fall war, wo die Räumungskraft des Ebbestromes nicht nur dazu ausreichte, das Flußbett reinzuhalten, sondern sogar noch zu vertiefen.

Ein Abschluß der Versandung ist in absehbarer Zeit noch nicht zu erwarten, es ist vielmehr zu befürchten, daß das ganze Eiderbett mit der Zeit bis auf ein schmales Priel verlandet und dann nicht nur die Entwässerung der Eiderniederung oberhalb des Sperrwerkes sich weiter verschlechtert, sondern daß dieser Mißstand sich dann auch noch auf die unterhalb des Sperrwerkes mündenden Entwässerungen ausdehnt, insbesondere auf den Vorfluter der großen Treene-niederung.

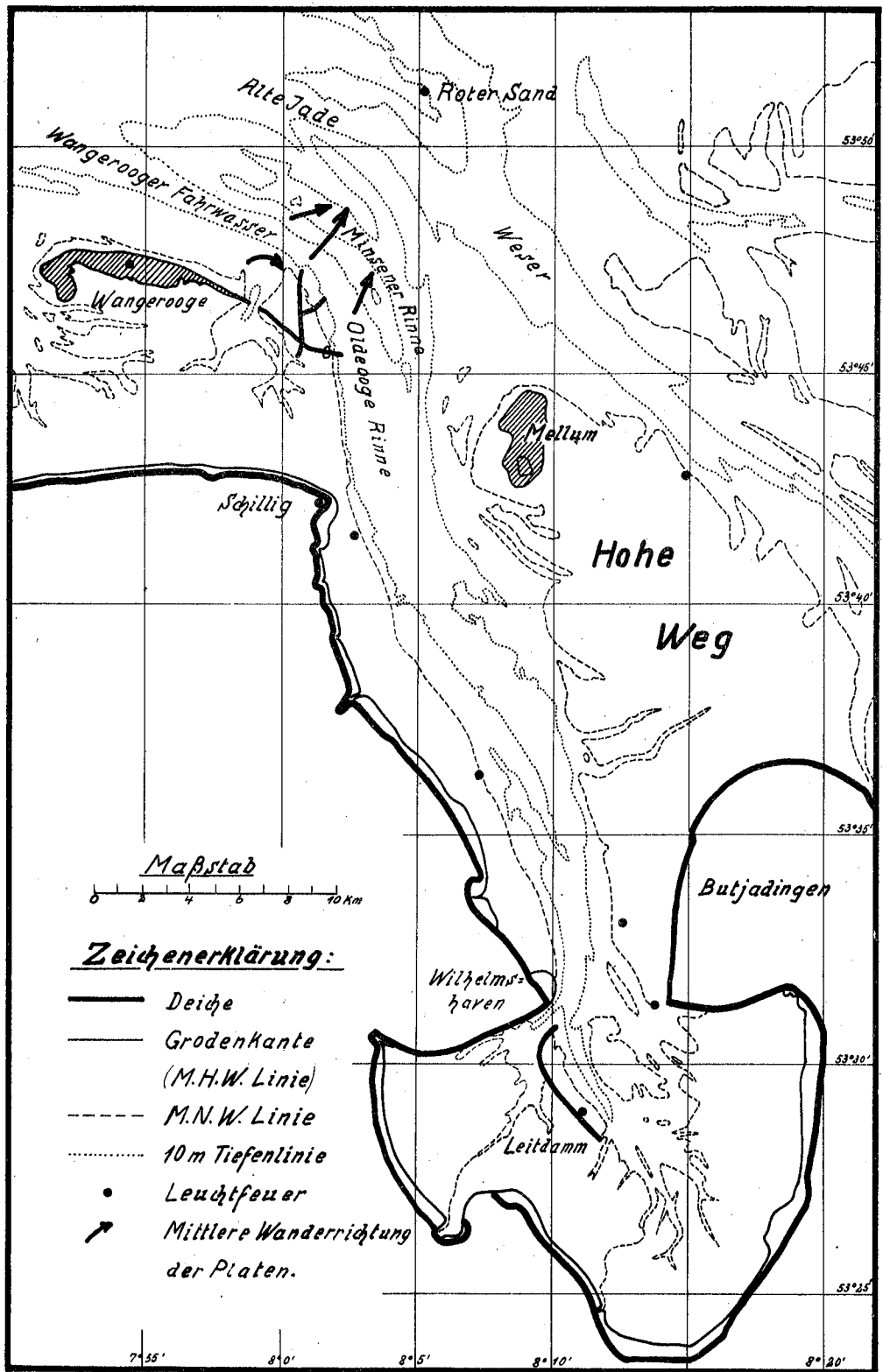
Über die Abhilfemaßnahmen ist noch kein endgültiger Beschluß gefaßt. Zur Erörterung stehen unter anderen insbesondere zwei Möglichkeiten. Ein Vorschlag strebt an, durch Einlassen von Flutwasser in die obere Eider und Auslassen desselben bei niedrigen Ebbewasserständen wieder eine natürliche Spülung des Unterlaufs der Eider in solchem Maße zu erreichen, daß die für eine natürliche Entwässerung notwendige Vorflut und für die Kleinschiffahrt ausreichende Fahrwassertiefen wieder erreicht werden. Andere Vorschläge gehen dahin, die natürliche Entwässerung und die unbedeutende Schifffahrt ganz aufzugeben und für die Entwässerung der Eiderniederung ein großes Schöpfwerk mit einer Leistung von 70 cbm/sec zu bauen, dem bald ein ähnliches Pumpwerk an der Treene-mündung bei Friedrichstadt würde folgen müssen.

Die Abdämmung der Eider stellt ein warnendes Beispiel dafür dar, daß man die natürlichen Verhältnisse einer Flußmündung im Tidegebiet nicht durch einen künstlichen Eingriff vollständig umgestalten sollte.

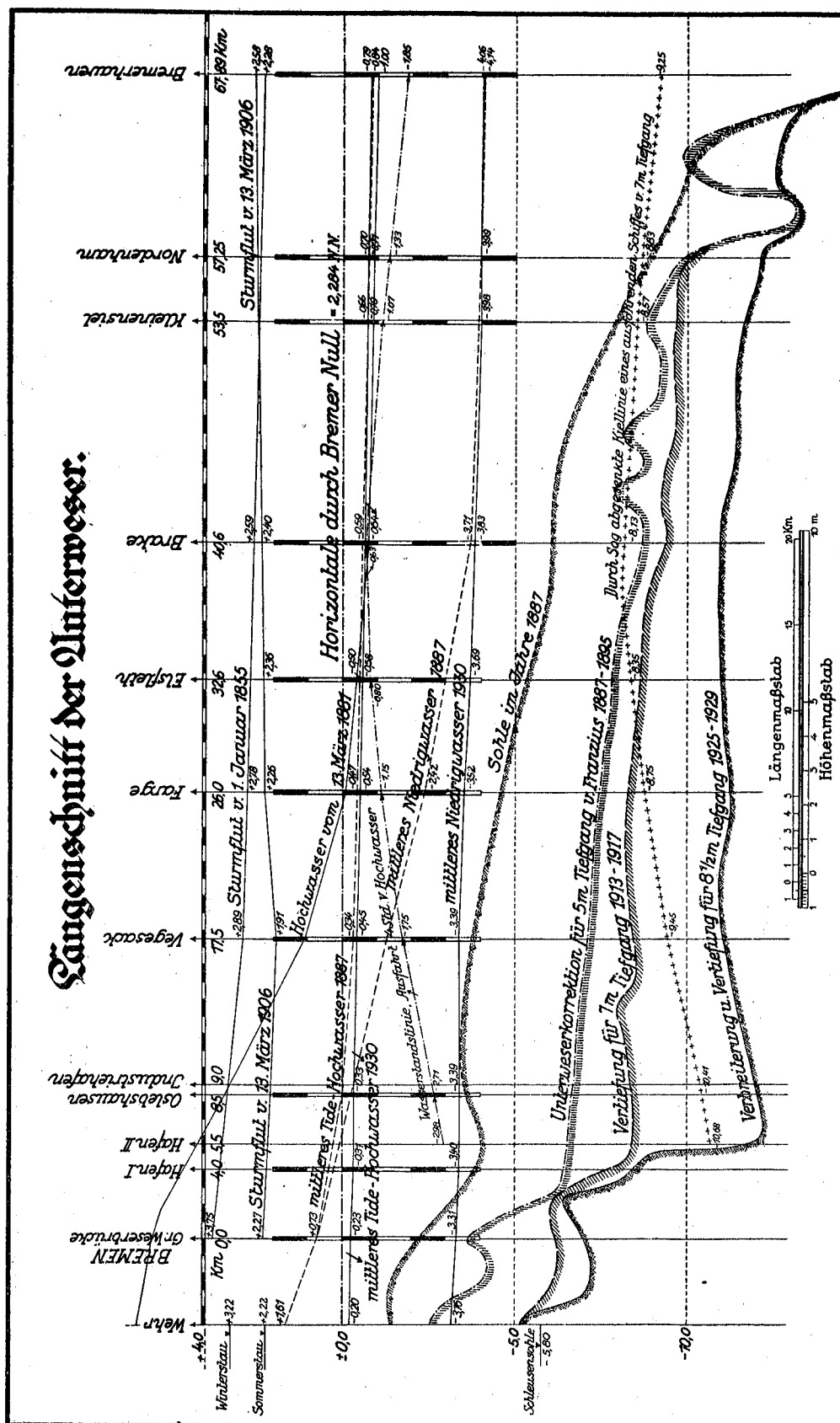


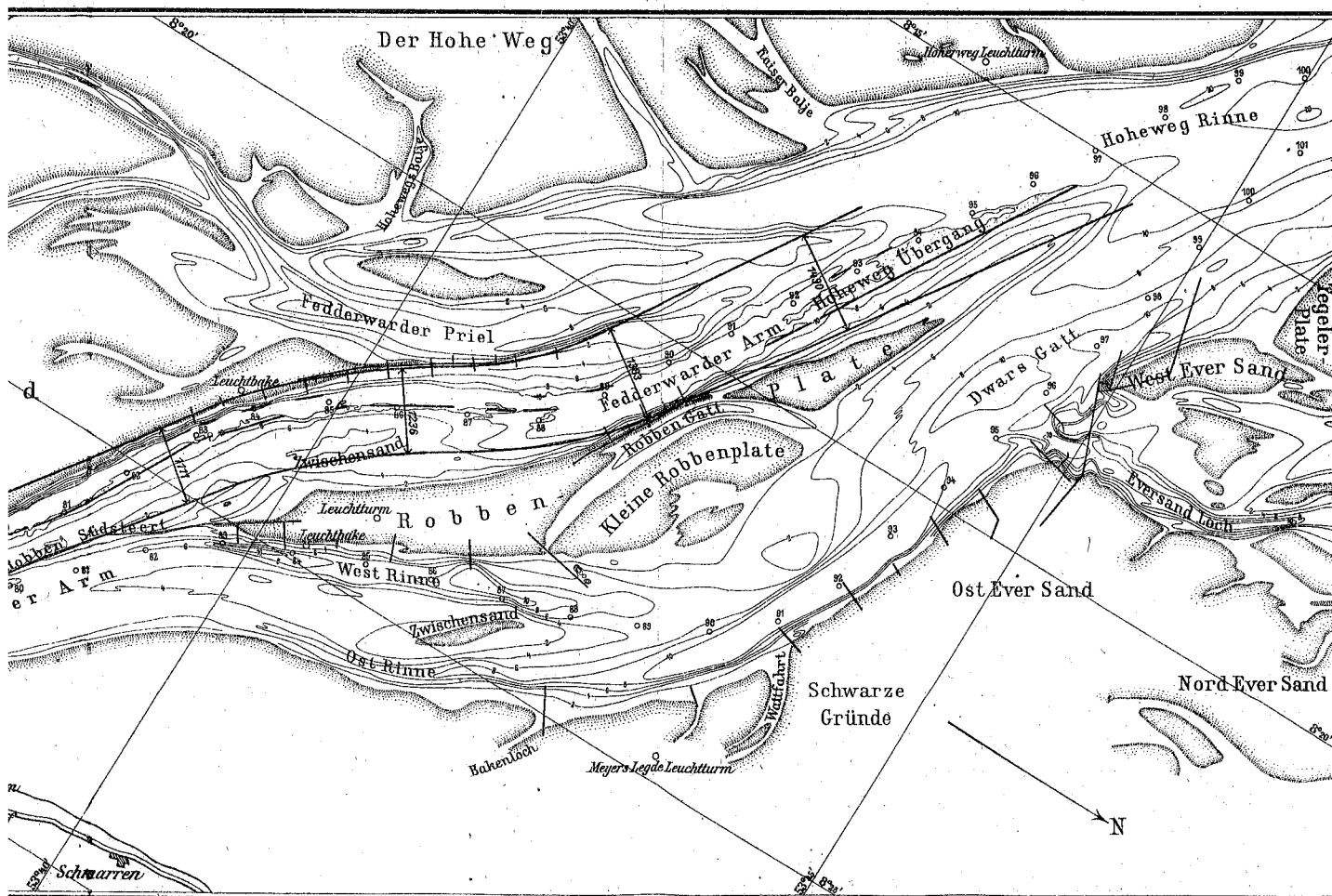
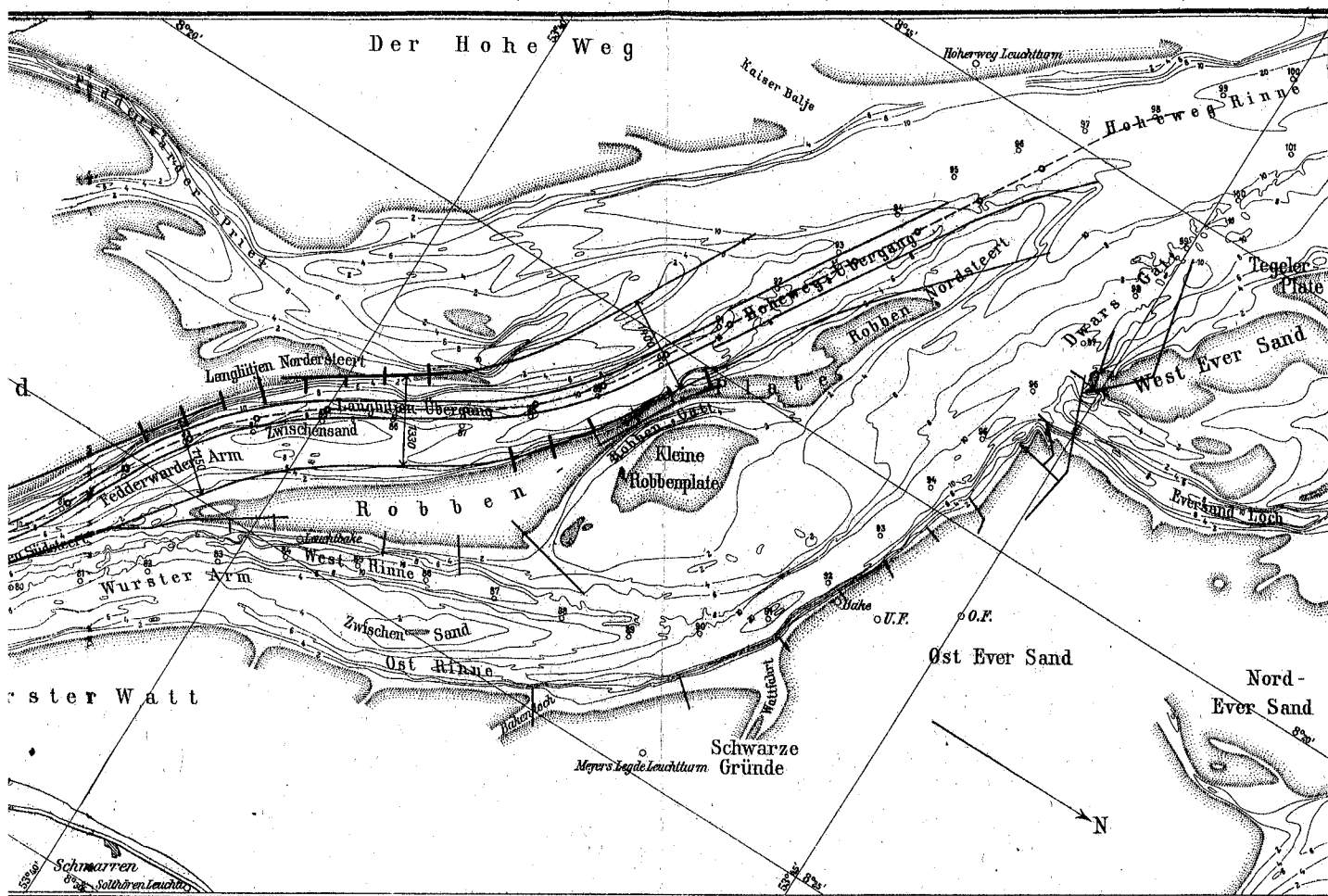


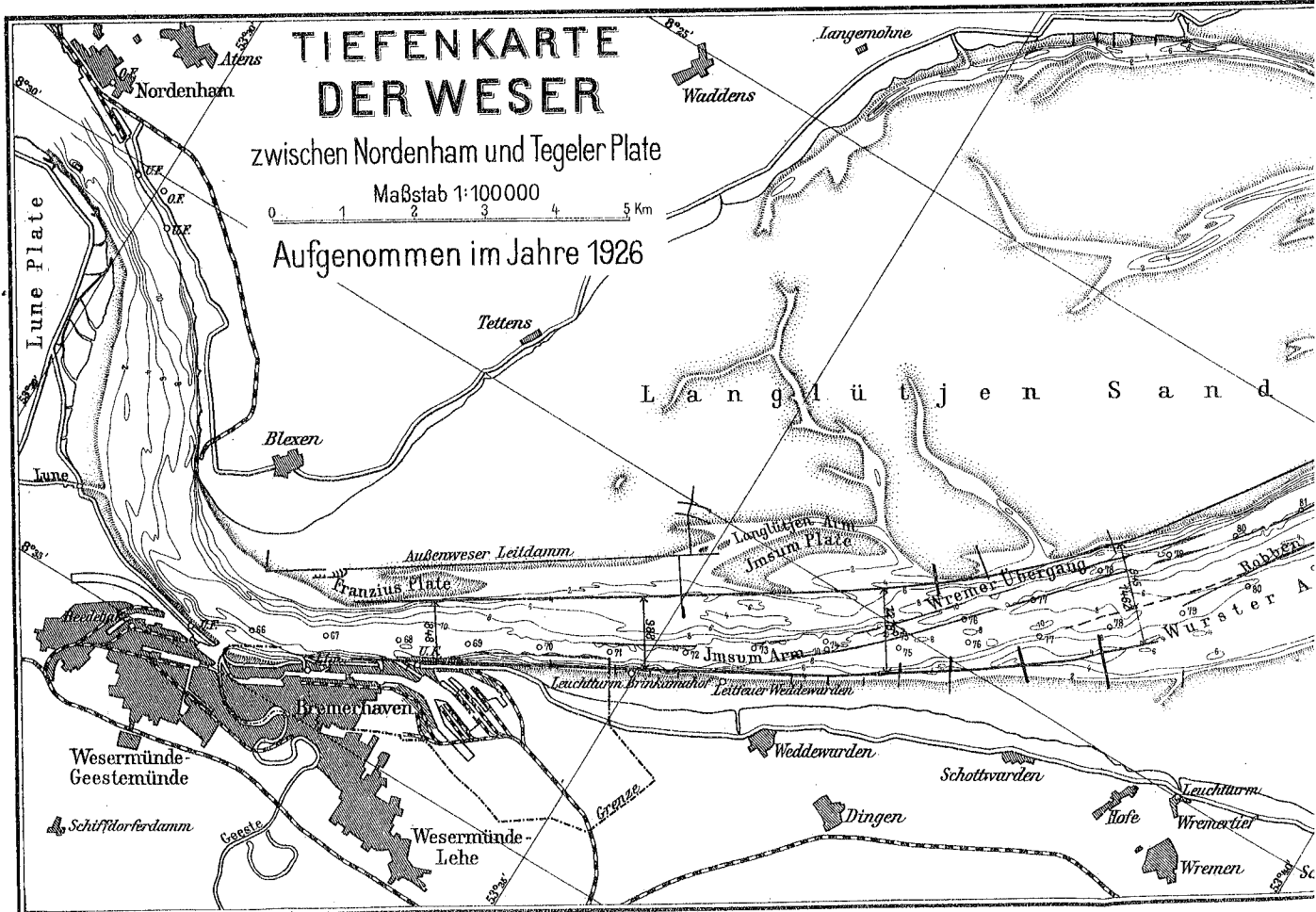
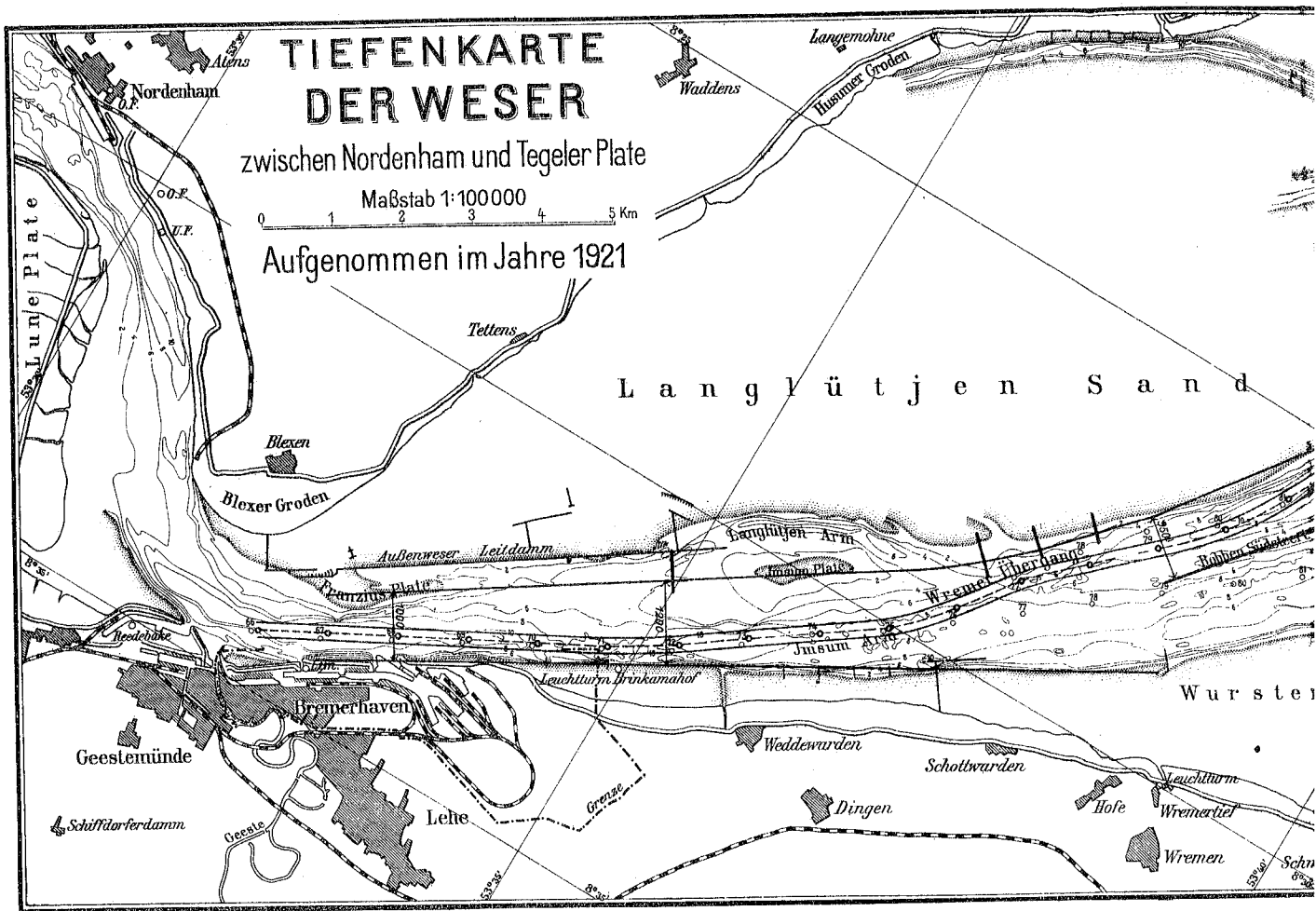
Übersichtsplan.



Die Jade im Jahre 1936.







Nr. 20

Abb. 6-7

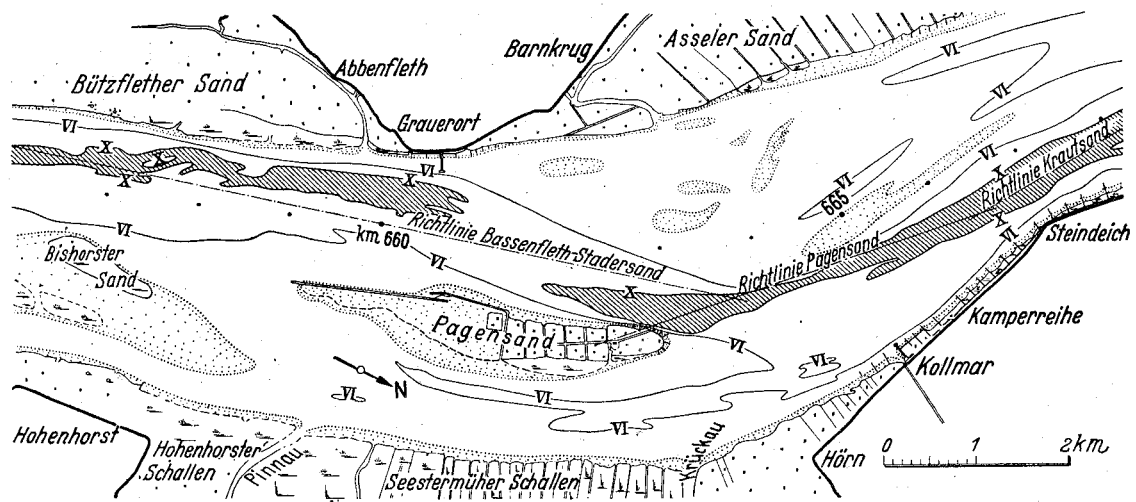


Abb. 6 Pagensand. Zustand 1926.

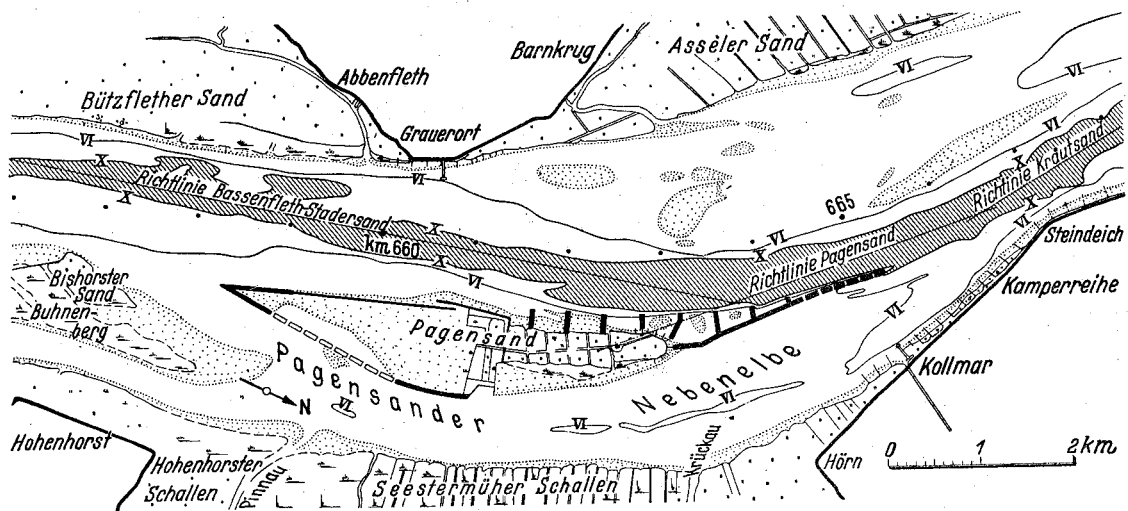


Abb. 7 Pagensand. Zustand 1935.

Nr. 20
Abb. 8-9

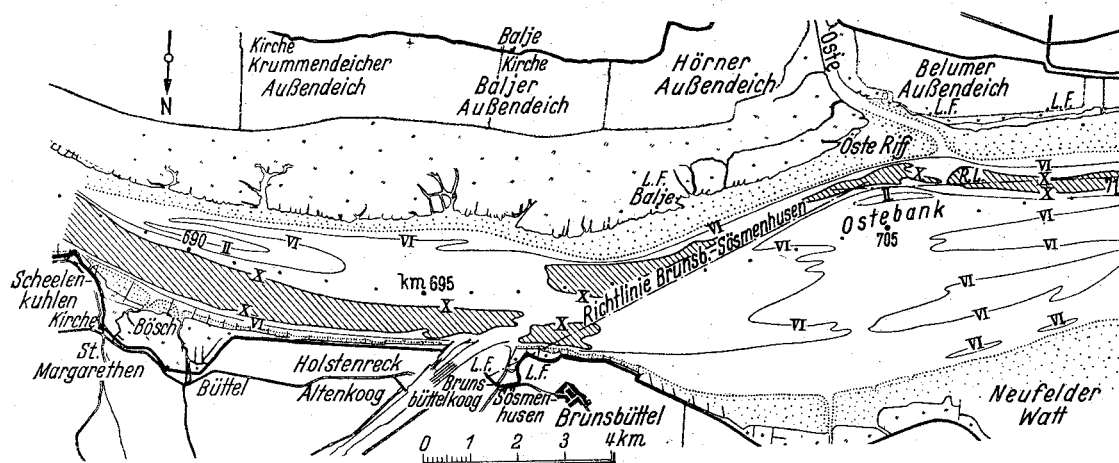


Abb. 8 Ostebank-Südfahrwasser. Zustand 1921.

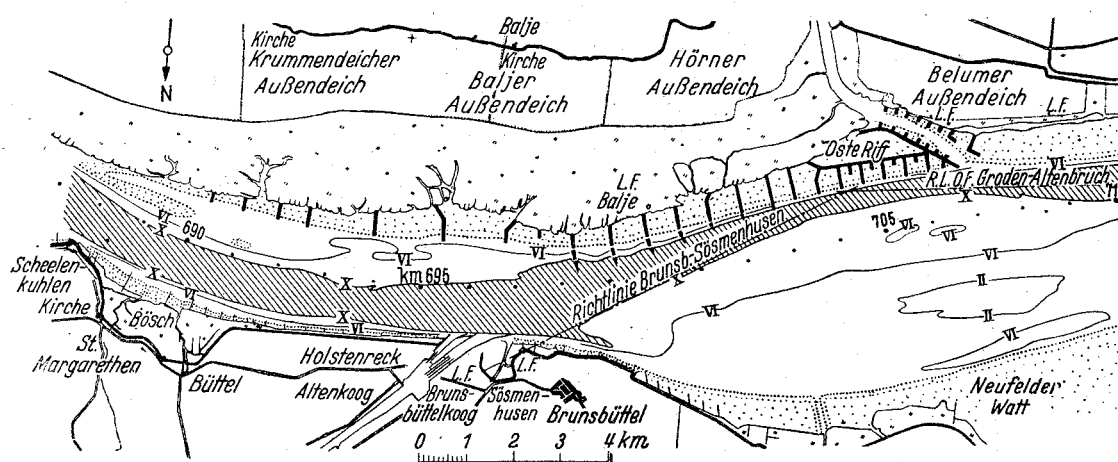


Abb. 9 Ostebank-Südfahrwasser. Zustand 1935.

r angeführten Meßstellen



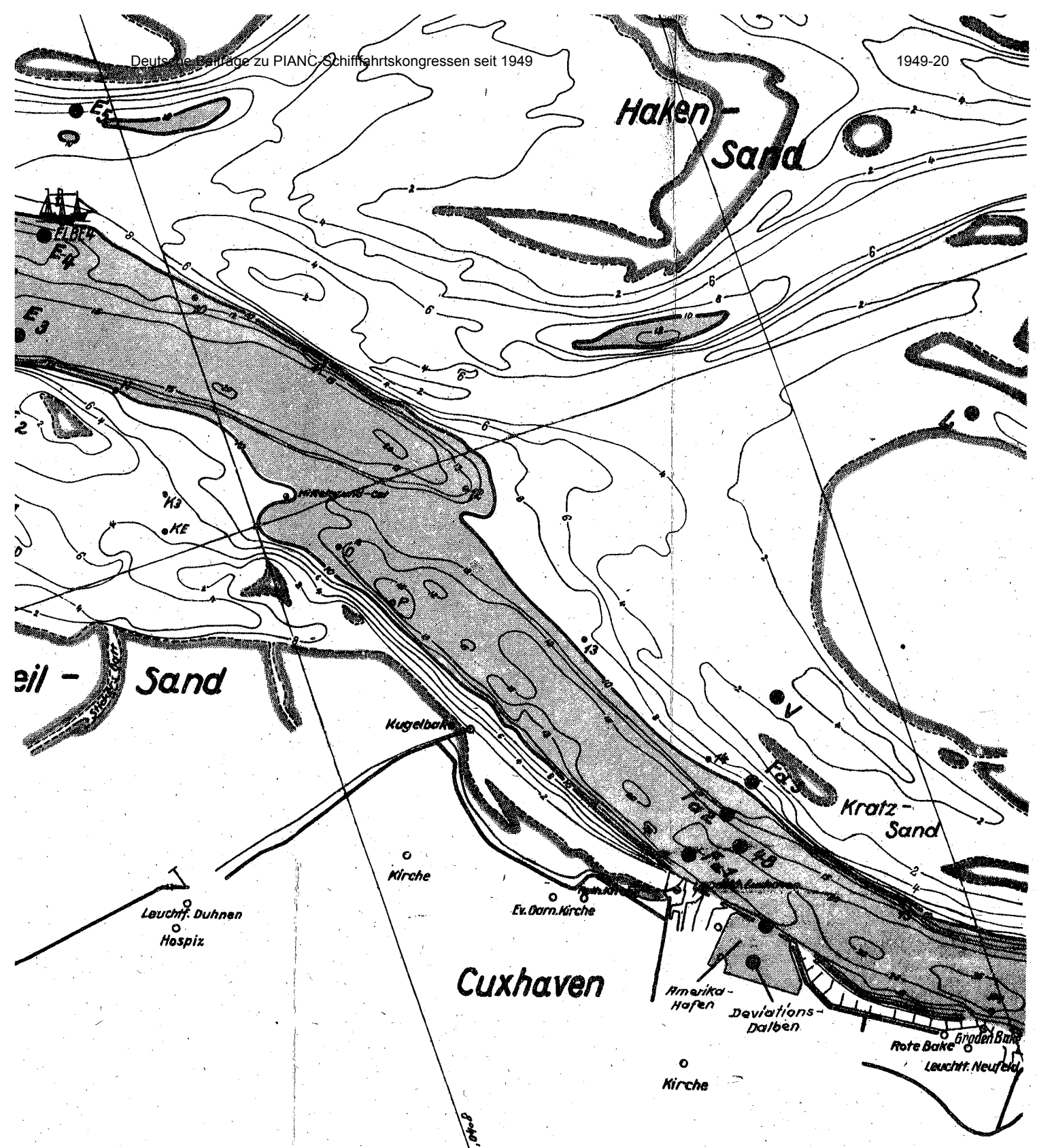
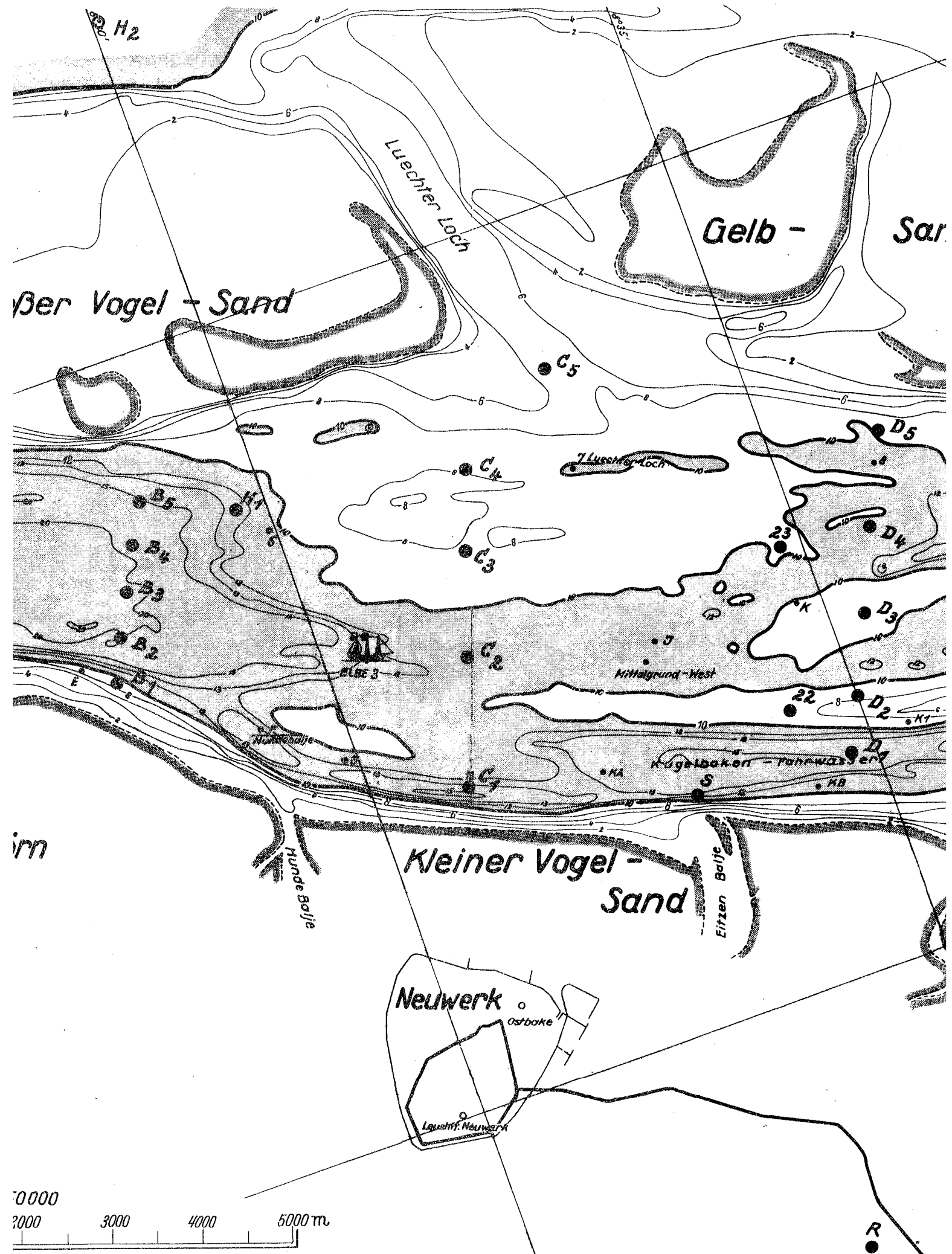


Abb. 10. Strömungsmessungen in der Außenelbe. I



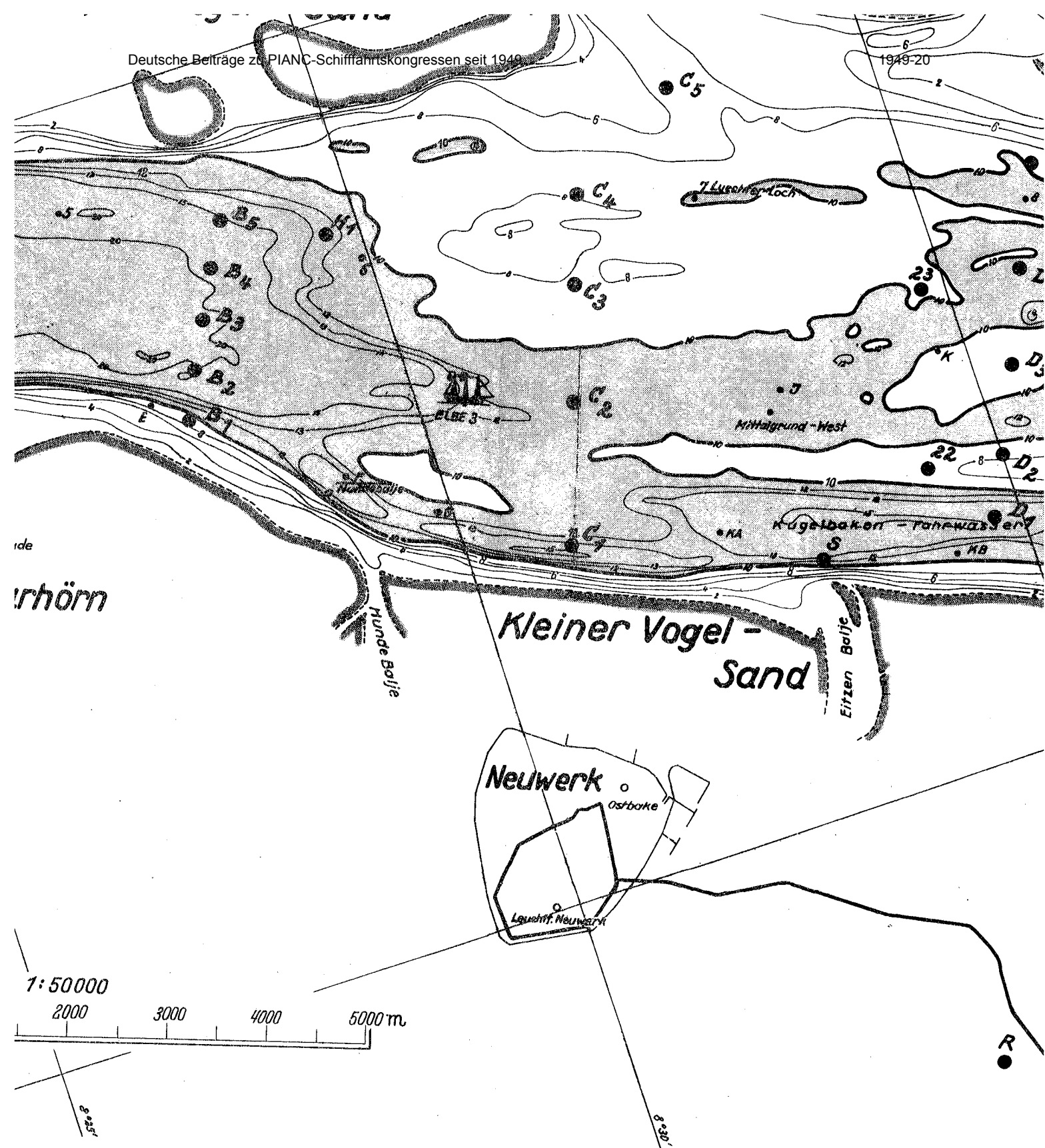
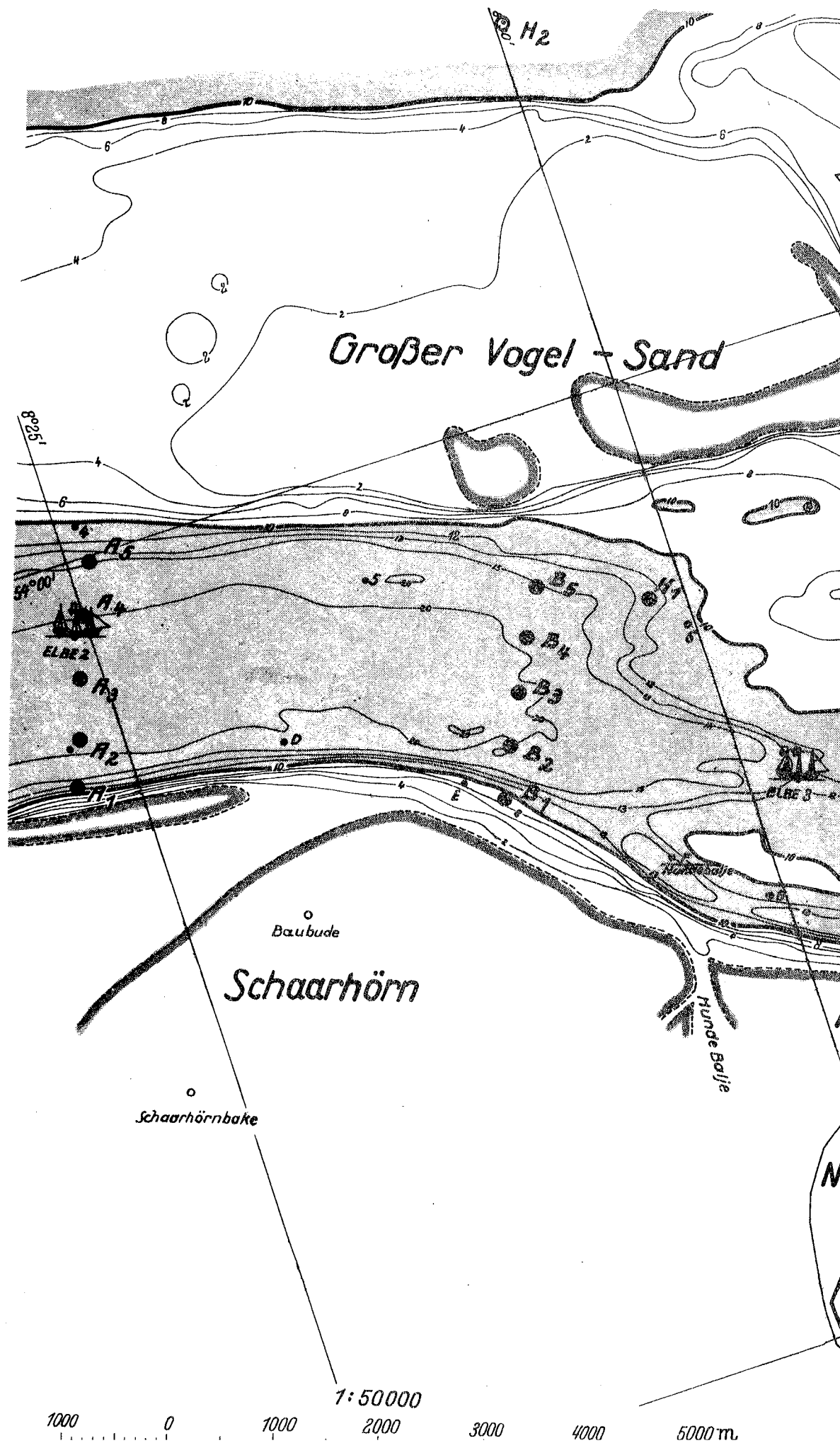
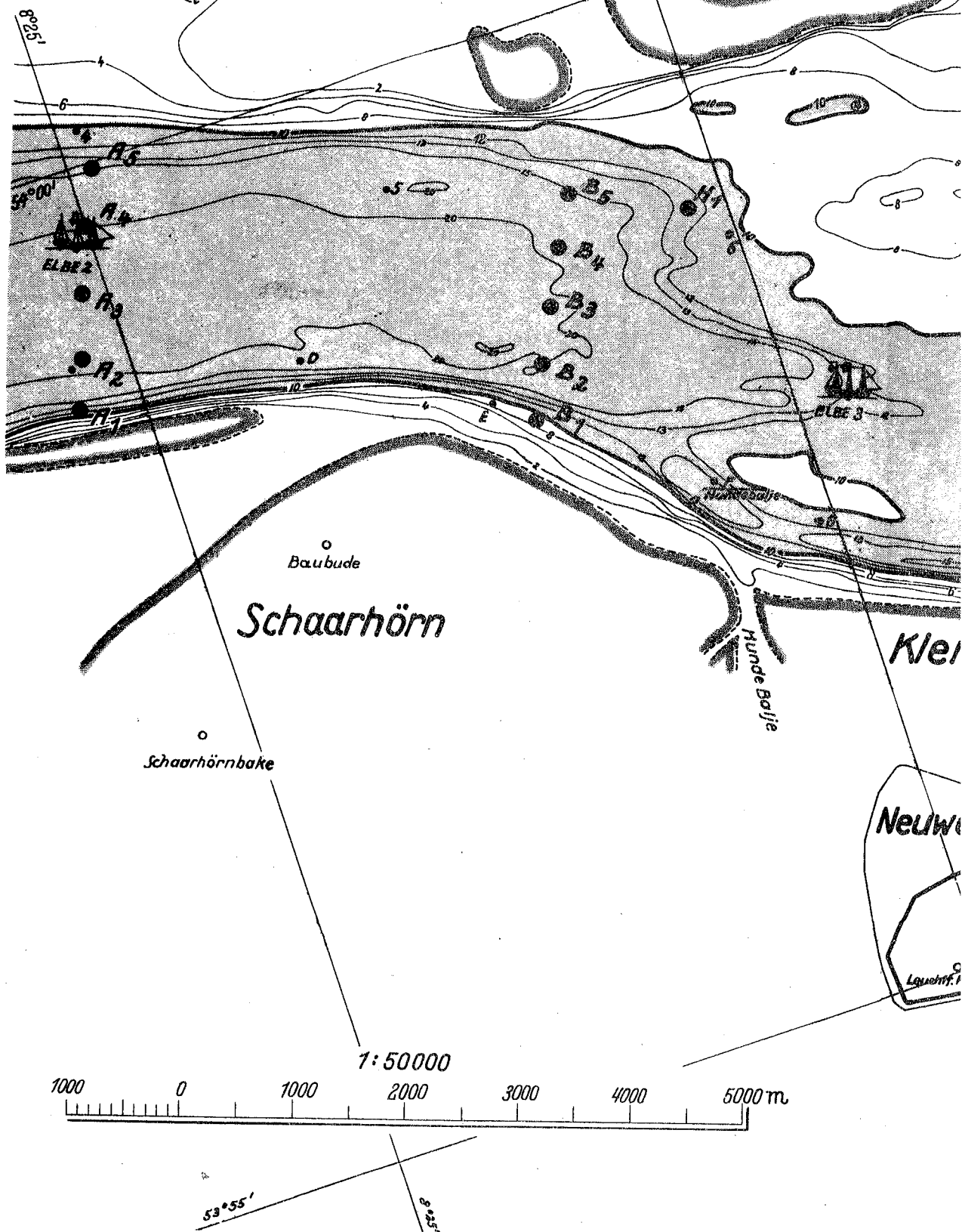


Abb.





Mittlere Tidekurve bei Nordfeld

